

## ЗНИЖЕННЯ ОБСЯГІВ ВИКОРИСТАННЯ НАФТОВИХ ПАЛИВ НА МІСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ

Л.Ю.Козак, О.Л.Мулик

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42351

e-mail: [kozakl@nung.edu.ua](mailto:kozakl@nung.edu.ua)

Матеріали статті присвячені важким вопросам енергосбереження, а именно повышению эффективности использования топлива городской транспортной системой. В работе предложена транспортная система, в которой специальный профиль путепровода обеспечивает движение транспортного средства за счет гравитации. Энергия для движения периодически накапливается при поднятии транспортного средства на определенную высоту на маршрутных остановках. Снижение затрат энергии достигается за счет полной рекуперации энергии торможения и снижения коэффициента трения качения. Приведены результаты сравнительного анализа затрат энергии для обычного городского транспорта с двигателем внутреннего сгорания и предлагаемой транспортной системой, согласно которой пробег на 1 кг условного топлива увеличивается в двадцать раз. При значительной экономии топлива, использование предлагаемой транспортной системы позволит значительно улучшить окружающую среду в городах. Дополнительно можно будет полностью отказаться от использования нефтяных топлив и перейти на альтернативные виды топлива а также возобновляемые и нетрадиционные источники энергии.

Автотранспорт сьогодні майже повністю представлений автомобілями, які працюють на викопному паливі. Понад 99 % палива, що використовується на транспорті, виробляється з нафти.

Споживання палива транспортними засобами постійно зростає. В 1985 році у всьому світі налічувалося 375 мільйонів пасажирських автомобілів, а кількість машин, що використовувалась для перевезень складала 109 мільйонів. В 2002 світовий пасажирський автопарк складав вже 530 мільйонів автомобілів, при цьому США – країні, населення якої складає 5% від світового, належала четверта частина всіх автомобілів. За оцінками експертів близько 700 мільйонів автомобілів рухаються сьогодні (2007 рік) дорогами і вулицями світу. Лише в 2006 році в світі було вироблено 70 мільйонів пасажирських автомобілів і легких вантажівок. Очікується, що до 2015 року вулицями світу рухатиметься мільярд автомобілів [1].

Зростання кількості автомобілів призводить до постійного зростання споживання нафти в світі. Так, наприклад, в США, населення яких складає 5% від світового, споживають приблизно 40% всього бензину, виробленого на планеті, і витрачають тільки на імпорт нафти понад 100 млрд. доларів. Україна забезпечена власними ресурсами нафти тільки на 5...10%,

This article are devoted to the important energy saving questions. There is offer to rise of the fuel efficiency which using for the city transport system. The offered transport vehicle can move due to a gravitation which the special form of overpass provides. The motion energy periodically accumulates when of transport vehicle is raising on a definite height on the stops.

The energy saving is achieved due to complete using of braking energy and decrease of coefficient of friction. The results of energy saving was comparative for ordinary public transport with a combustion engine and the offered transport system. Distance which can run the offered transport vehicle compare ordinary public vehicle is in twenty times more when its using of one kg fuel.

вартість імпортованої нафти складає понад 7 млрд. дол. США, а вартість додатково імпортованих нафтових моторних палив – близько 2 млрд. дол. США на рік). Оскільки видобування нафти стає все більш і більш дорогим, то ціни на нафту постійно зростають і в майбутньому зміна ситуації не очікується [1].

За даними аналітиків за існуючих темпів споживання нафти її запасів у різних країнах світу може вистачити лише на період до 2020 р. і лише в окремих країнах – до 2070 року. Запаси природного газу значно їх перевищують (табл. 1).

**Таблиця 1 – Дані про закінчення промислових залишків нафти і газу у країнах світу [2]**

Країна	Нафта	Природний газ
Іран	2071 р	2083 р
США	2010 р	2019 р
Норвегія	2011 р	2024 р
Великобританія	2008 р	2009 р
Росія	2021 р	2024 р

Ситуація, яка склалася із забезпеченням транспорту достатніми обсягами нафтопродуктів, гостро ставить проблему пошуку альтерна-

тивних видів моторного палива. Доступним готовим джерелом сконцентрованої енергії є стиснутий природний газ (СПГ) та рідке біологічне паливо. У ряді країн світу і в Україні вже використовують стиснутий природний газ як моторне паливо для вантажних і легкових автомобілів та застосовуються бензини з 10-15% різних паливних домішок. Зокрема суміш бензину з етанолом (10-12%), особливо успішно використовується у США і Канаді, а також у Бразилії, де її виробництво здійснюється на основі національної програми. У США 80% виробленого етанолу використовується як паливо. Переведення автотранспорту на газомоторне паливо (природний газ) та біопаливо зумовлюється не тільки економічними, але і екологічними чинниками.

Разом з тим, багато фахівців вважають, що в планетарних (а найголовніше – в довготривалих) масштабах, біопаливо має невеликі шанси на "виживання". Головний аргумент «проти» – велика частина населення землі живе за межею бідності, не маючи доступу навіть до нормальної повноцінної їжі. Проблемаю також є постійна тенденція подорожчання як комерційної, так і сільськогосподарської землі, а виробництво біопалива обмежується масштабами орних земель і врожайністю. Для виробництва тонни олії за європейської врожайності ріпаку – 26 ц/га потрібно прибрати його з площі в 1 га, а за кращої української врожайності – з 2 га. Оскільки річна потреба нашого сільського господарства в дизельному паливі складає 1,3-1,6 млн. т, то для його забезпечення рапсом доведеться засівати до 3 млн. га. Якщо додати до цього залізницю, автомобільний транспорт і армію, то для повного задоволення їх потреб нам просто не вистачить орних земель. Крім того, виробництво біопалива є затратним. Так, у процесі спалювання етанолу можна отримати на 67% більше енергії, ніж затрачається на його виробництво.

Найвірнішою ознакою того, що в довгостроковій перспективі біопаливо не має «рожевого» майбутнього, є ставка автомобільних гігантів на водень. На думку провідних інженерів, саме водень стане універсальним паливом майбутнього, яке врятує світ від забруднення.

Проблеми вирішення енергетичної і екологічної кризи для транспорту у світових масштабах буде забезпечуватись не тільки заміною нафтопродуктів альтернативними видами палива, але й використанням відновлюваних джерел енергії (сонячна енергія) і підвищенням ефективності використання енергії транспортними двигунами. Перспективними тут виявились автомобілі з гібридною трансмісією, які вже випускаються серійно, а також розроблені принципово нові схеми використання палива – паливні комірочки [3, 4] (Паливна комірочка є пристроєм для одержання електричної енергії з органічного палива та кисню під час хімічної реакції утворення води та двоокису вуглецю з кисню, водню та вуглецю).

У автомобілів з гібридною трансмісією тепловий двигун приводить у рух електрогенера-

тор, який виробляє електроенергію для привода електродвигунів коліс і зарядки акумуляторів. Така схема забезпечує роботу теплового двигуна у діапазоні найбільш високого к.к.д. і дає можливість ефективно компенсувати пікові навантаження. Наявність електродвигуна дає змогу регенерувати енергію, що виділяється під час гальмування автомобіля.

Що стосується автомобілів з паливними комірками, які відносяться до хімічних джерел струму, то в них здійснюється пряме перетворення енергії палива в електрику поза малоефективними процесами горіння теплових двигунів. Ці електрохімічні пристрої в результаті високоефективного «холодного горіння» палива безпосередньо виробляють електроенергію. У поєднанні з електричними двигунами паливні комірочки є ідеальними двигунами для транспортних засобів, перш за все автомобілів, палива яким потрібно у 2-4 рази менше, ніж для найкращих автомобілів з двигунами внутрішнього згорання. Для порівняння наведемо також «здібності» традиційних генераторів електричної енергії. Так, ефективність використання палива найкращими газовими турбінами дуже великої потужності зараз становить 42%, тепловими станціями – 33-35%, дизельними станціями – 36%. Найменш ефективно використовують паливо автомобілі з двигунами внутрішнього згорання (ДВЗ). В найкращому випадку, коли вони рухаються якісним автошляхом, к.к.д. складає 20%. У місті ж вона не перевищує 10%. Очевидно, що підвищення ефективності використання палива міським транспортом до 50-60% дасть змогу знизити його споживання у 5-6 разів.

Для міського транспорту найбільшу ефективність зі споживання палива можна одержати у разі переходу на використання електротранспорту (тролейбусів, трамваїв, метрополітену) замість автотранспортних засобів із двигунами внутрішнього згорання. У цьому випадку ефективність використання традиційного палива можна значно підвищити. Для цього необхідно реалізувати технологічну схему, за якою традиційне паливо (вугілля, мазут, природний газ та ін.) спалюється для виробництва електроенергії з к.к.д. від 30 до 50%. Викиди низькопотенціальної теплоти (40-50%) будуть використовуватись для теплопостачання міста [5]. Це так звана когенерація – схема, за якою працюють теплоелектроцентралі (ТЕЦ). Сьогодні більшість міських котелень теплокомуненерго працює на природному газі. Замість цих котелень можна побудувати когенераційні установки, які вироблятимуть одночасно електроенергію і теплоту, що використовується для теплопостачання і гарячого водопостачання. Так, наприклад, сучасні парогазові когенераційні установки (ПГУ) мають к.к.д. з виробництва електроенергії до 55-60%, а з використанням викидів тепла для гарячого водопостачання та теплопостачання ефективність використання теплоти згорання палива підвищується до 80-85%. Ефективність використання виробленої електроенергії електротранспортом з урахуванням часткової рекуперації енергії під час галь-

мування є високим. Тому загальна ефективність споживання традиційного палива для міського транспорту за такої схеми його використання може збільшитись у п'ять-шість разів, при цьому замість дорогих палив з нафтопродуктів будуть використовуватись більш дешеві, а також можна буде частково використовувати нетрадиційні джерела енергії. Значно знизиться забруднення, адже шкідливі викиди когенеративних установок або ТЕЦ легше і дешевше знешкодити, ніж викиди двигунів внутрішнього згоряння, окрім того, такі ТЕЦ можна розмістити за містом.

Попри всі переваги міського електротранспорту над транспортом з ДВЗ у ефективності споживання енергії є у них один спільний недолік – це втрати енергії під час гальмування, які "з'їдають" лівову частку енергії під час руху містом, що пов'язано з частими зупинками для посадки та висадки пасажирів та напруженим рухом. Розглянемо це більш детально на прикладі.

#### Розрахунок затрати енергії під час руху маршрутного транспорту.

Вихідні дані: маса автобуса – 5 т, швидкість руху – 11 м/с (40 км/год), коефіцієнт тертя кочення – 0.02, коефіцієнт опору повітря – 0.025 Н/м<sup>4</sup>, площа – 4 м<sup>2</sup>, середня відстань між зупинками – 1 км.

В ідеальному випадку рух міського транспорту складається з трьох основних циклів: розгін від нерухомого стану до необхідної швидкості, рівномірний рух і гальмування до зупинки. Перші два цикли потребують затрати енергії. В третьому циклі (гальмування) кінетична енергія ТЗ розсіюється у навколишнє середовище.

Необхідна енергія для розгону і рівномірного руху транспортного засобу (ТЗ) визначається так:

$$E = E_K + E_T + E_{OP} = \frac{mV^2}{2} + KmgS + kFV^2S =$$

$$= \frac{5000 \cdot 11^2}{2} + 0.02 \cdot 5 \cdot 10^3 \cdot 9.8 + 0.02 \cdot 4 \cdot 11^2 \cdot 10^3 =$$

$$= 1292 \text{ кДж},$$

де:  $E$  – енергія, яка затрачається для розгону ТЗ;

$E_T$  – енергія, яка затрачається на переборювання тертя кочення під час руху;

$E_{OP}$  – енергія, яка затрачається на переборювання опору повітря під час руху;

$m$  – маса транспортного засобу;

$V$  – швидкість переміщення;

$g$  – прискорення земного тяжіння;

$S$  – відстань між зупинками;

$F$  – лобова площа ТЗ;

$k$  – коефіцієнт тертя кочення;

$K$  – коефіцієнт опору повітря.

За реальних умов під час переміщення міського пасажирського транспорту в більшості випадків зупиняється доводиться не тільки на

маршрутних зупинках, але на регульованих перехрестях і в місцях скупчення транспорту, тому приймемо, що ТЗ в середньому робить додатково, ще дві повні зупинки, після чого знову розганяється. Тоді повна енергія для переміщення ТЗ на віддаль 1 км буде:

$$E = 3E_K + E_T + E_{OP} = \frac{mV^2}{2} + KmgS + kFV^2S =$$

$$= \frac{3 \cdot 5000 \cdot 11^2}{2} + 0.02 \cdot 5 \cdot 10^3 \cdot 9.8 + 0.02 \cdot 4 \cdot 11^2 \cdot 10^3 =$$

$$= 1897 \text{ кДж},$$

де  $n = 3$  – кількість розгонів ТЗ до заданої швидкості.

З аналізу повної витрати енергії за її складовими виявляється, що кількість енергії, яка затрачається на переборювання тертя кочення під час руху приблизно дорівнює енергії, що затрачається для розгону ТЗ (47,8% і 51,7% відповідно). Втрати енергії, яка затрачається на переборювання опору повітря під час руху незначні – близько 0,5% від повної витрати енергії. Тобто, під час пересування містом близько половини енергії, яку виробляє ДВЗ, витрачається для руху ТЗ, а решта розсіюється в навколишнє середовище. Отже нераціональний рух ТЗ вулицями міста зводить нанівець всі досягнення ефективності ДВЗ. Навіть підвищення к.к.д. ДВС до 5-10%, що на практиці є неможливим, не зможе компенсувати значні витрати палива міським транспортом, через часті зупинки/розгони. Тому всі досягнення у ефективності, яка виражається довжиною пробігу ТЗ на одиницю кількості палива, втрачають сенс під час їх пересування містом з його регульованими перехрестями, заторами, скупченням транспорту і частими зупинками для посадки/висадки пасажирів.

Очевидно, що для підвищення ефективності використання палива міським ТЗ необхідна регенерація енергії, яка розсіюється під час гальмування. ТЗ з електричним приводом можуть регенерувати незначну кількість енергії гальмування під час роботи їх електродвигунів у режимі генератора. Більша ж частина енергії гальмування розсіюється. Те ж стосується ТЗ з гібридним приводом.

Нами пропонується енергоощадна транспортна система (ТС) для міських перевезень. Основною перевагою такої системи є повна рекуперація енергії гальмування з подальшим її використанням для розгону. Ця мета досягається шляхом створення шляхопроводу спеціального профілю (рис. 1).

Шляхопровід виконаний у вигляді монорельса, яким рухається ТЗ (наприклад, вагонетка) і має три характерних ділянки: 1 – криволінійна ділянка для розгону до необхідної швидкості; 2 – прямолінійна похила ділянка рівномірного руху; 3 – криволінійна ділянка сповільнення руху до зупинки. Висота криволінійних ділянок залежить від заданої швидкості руху і визначається з формули

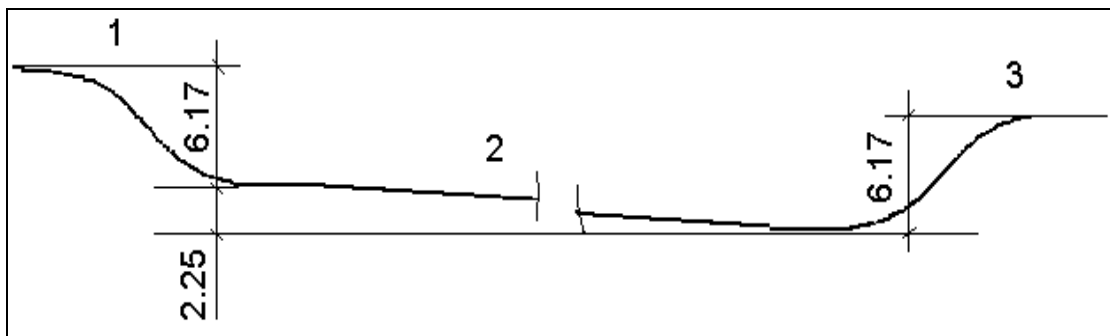


Рисунок 1 – Профіль шляхопроводу запропонованої транспортної системи

$$h = \frac{V^2}{2g} = \frac{11^2}{2 \cdot 9,8} = 6,173 \text{ м}$$

і для нашого випадку для швидкості 40 км/год (11 м/с) – 6.17 м. Нахил ділянки 2 визначається з умови підтримання рівномірного руху

$$h = \frac{E_T + E_{op}}{G} = \frac{9,8 \cdot 10^4 + 1,21 \cdot 10^4}{4,9 \cdot 10^4} = 2,247 \text{ м}$$

і становить 2.25 м за коефіцієнта тертя кочення 0.02 і довжини ділянки 1000 м.

Шляхопровід такого профілю забезпечує розгін транспортного засобу до заданої швидкості на ділянці 1, рівномірний рух за рахунок нахилу на ділянці 2 і гальмування вагонетки на ділянці 3. Рух вагонетки відбувається, без двигуна, за рахунок сили тяжіння. Енергія для руху надається в кінцевому положенні на ділянці 3 при піднятті вагонетки спеціальним піднімаючим пристроєм на задану висоту, яка залежить від сил тертя кочення, опору повітря і довжини ділянки 2. Для нашого випадку це висота у 2,25 м.

Особливістю такої транспортної системи є те, що під час руху вагонетки енергія, яка витрачається на розгін на ділянці 1, повністю повертається під час гальмування вагонетки на ділянці 3. Затрати енергії для руху вагонетки витрачаються тільки на тертя кочення і опір повітря, які є низькими для сталевих коліс і рейок за невисоких швидкостей руху.

Загалом транспортна система складається з великої кількості закріплених шляхопроводів, прокладених під або над землею. Наприкінці ділянки 3 кожного шляхопроводу розміщено піднімач, який піднімає вагонетки на необхідну висоту, після чого вони знову розганяються. Розвантаження вагонетки вигідно проводити перед її підняттям, а завантаження – після її підняття. Двигуни піднімачів живитимуться за рахунок електроенергії, що вироблятиме когенеративні установки, наприклад, згадані вище ПГУ, к.к.д. яких при виробництві електроенергії є близьким до 55%. У цьому випадку, викиди тепла, що залишаються після виробництва електроенергії, використовуватимуться для теплопостачання міста. Така транспортна система буде надзвичайно економічною порівняно з міськими ТЗ із двигунами внутрішнього згоряння. Розрахунки свідчать, що ТЗ із наведеними вище параметрами і приводом від

ДВЗ при споживанні 1 кг умовного палива зможуть подолати під час руху містом близько 4,5 км, а ТЗ запропонованої транспортної системи подолає близько 127 кілометрів і додатково на ТЕЦ буде вироблено теплоту, за рахунок якої можна нагріти 53 кг води на 50 °С.

**Розрахунок довжини пробігу ТЗ з двигуном внутрішнього згоряння** Приймемо для ТЗ параметри, що наведені вище. Додатково вважатимемо, що к.к.д. для ДВЗ –  $\eta = 30\%$ . Теплотворна здатність умовного палива  $Q_u = 28 \text{ МДж/кг}$ .

Оскільки врахована енергія, що необхідна для пересування ТЗ містом на відстань 1 км з трьома зупинками становить  $E = 1,827 \text{ МДж}$ , то повний пробіг при споживанні 1 кг умовного палива становитиме

$$L = \frac{Q_u \times \eta}{E} = \frac{28 \times 0,3}{1,827} = 4,428 \text{ км.}$$

За відсутності незапланованих зупинок на маршруті пробіг ТЗ зросте:

$$L = \frac{Q_u \times \eta}{E} = \frac{28 \times 0,3}{1,292} = 6,501 \text{ км.}$$

**Розрахунок довжини пробігу ТЗ запропонованої транспортної системи** В цьому випадку у разі переміщенні ТЗ на відстань 1 км енергія витрачається тільки на тертя кочення та опір повітря і становить  $E = 0,11 \text{ МДж}$ , що стосується к.к.д. споживання палива, то він становитиме близько  $\eta_1 = 0,5$  (це к.к.д. ПГУ з виробництва електроенергії). Тоді пробіг ТЗ запропонованої транспортної системи при споживанні 1 кг умовного палива

$$L = \frac{Q_u \times \eta_1}{E} = \frac{28 \times 0,5}{0,11} = 127,2 \text{ км.}$$

Додатково з 1 кг умовного палива буде вироблена теплова енергія, за рахунок якої можна буде нагріти воду на 50 °С в кількості, що визначається за формулою

$$M = Q_u \frac{0,9 - \eta_1}{50 \times C_p} = \frac{0,9 - 0,5}{50 \times 0,00042} = 53,33 \text{ кг.}$$

Очевидно, що енергоефективність запропонованої транспортної системи є вражаючою у порівнянні з традиційними транспортними засобами з ДВЗ, адже пробіг для маршрутного ТЗ в умовах міського руху зростає більш ніж у 20 разів. Додатково можна буде повністю відмовитись від використання нафтових палив і

перейти на альтернативні види палив та відновлювані і нетрадиційні джерела енергії. Позитивним є також те, що конструкція ТЗ запропонованої транспортної системи є спрощеною, оскільки відсутні двигун і трансмісія, а управління ТЗ легко автоматизувати, адже режим руху задається профілем шляхопроводу.

Перехід на міські перевезення вантажів і пасажирів запропонованою транспортною системою доцільно використовувати як основний вид транспорту у великих та середніх за розмірами містах і як додаток до метрополітену у мегаполісах. Попри значну економію палива, це дасть змогу покращити навколишнє середовище у містах та навколо них.

### *Література*

- 1 Матеріали VII Міжнародної конференції "Нафта і газ 2003", "Укравтогаз" 19.12.2003
- 2 Інтернет видання [www.energy-bio.ru](http://www.energy-bio.ru)
- 3 Васильєв О.Д. Паливна комірка // Електропанорама. – 2000. – №3. – С.18-20.
- 4 N.Q. Minh, T. Takahashi. Science and technology of ceramic fuel cells // Elsevier Science b.v. -Amsterdam, 1995. – 356 p.
- 5 Пропозиції до енергетичної стратегії України // Енергоінформ. – 14-20 червня 2001. – №24(104). – С.12.